

NORSK INSTITUTT FOR
SKOG OG LANDSKAP

adr.: Pb 115
NO-1431 Ås

tlf.: +47 64 94 80 00
faks: +47 64 94 80 01

nett: www.skoglandskap.no

REGIONKONTOR
NORD-NORGE

adr.: Skogbrukets hus
NO-9325 Bardufoss

REGIONKONTOR
MIDT-NORGE

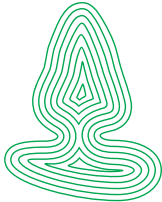
adr.: Statens hus
NO-7734 Steinkjer

REGIONKONTOR
VEST-NORGE

adr.: Fanaflaten 4
NO-5244 Fana

NORSK
GENRESSURSSENTER

adr.: Raveien 9, Ås
Pb 115, NO-1431 Ås



skog+
landskap

Viten fra Skog og landskap

INTENSIV SKOGOVERVÅKING I 2005. RESULTATER FRA ICP FORESTS LEVEL 2 FLATER I NORGE

Kjell Andreassen, Nicholas Clarke,
Ingvald Røsberg, Volkmar Timmermann,
Wenche Aas



04/2006

ISSN 1890-159X
ISBN 978-82-311-0005-8
ISBN 82-311-0005-9

Viten fra Skog og landskap – 04/2006

**INTENSIV SKOGOVERVÅKING I 2005.
RESULTATER FRA ICP FORESTS LEVEL 2
FLATER I NORGE**

**Intensive forest monitoring in 2005.
Results from ICP Forests Level 2 plots in Norway**

**Kjell Andreassen, Nicholas Clarke, Ingvald Røsberg,
Volkmar Timmermann, Wenche Aas**

ISSN 1890-159X
ISBN 978-82-311-0005-8
ISBN 82-311-0005-9

Forsidebilde: Klatring med fullt klatreutstyr i Hurdal for å hente grenprøver til kjemisk analyse av barnåler, Volkmar Timmermann.

Norsk institutt for skog og landskap, Pb 115, NO - 1431 Ås, Norway

INNHOLD

SAMMENDRAG	4
SUMMARY	5
INNHold	7
OVERSIKT OVER FLATENE OG MÅLEPROGRAMMET	7
FORURENSNINGER I LUFT	8
JORDVANN	13
VEGETASJON	15
DISKUSJON	22
LITTERATUR	23

SAMMENDRAG

Andreassen, K.* , Clarke, N.* , Røsberg, I.* , Timmermann, V.* , Aas, W.# Intensiv skogovervåking i 2005. Resultater fra ICP Forests Level 2 flater i Norge. *Intensive forest monitoring in 2005. Results from ICP Forests Level 2 plots in Norway. Viten fra Skog og landskap 04/2006. 23 s.*

* Norsk institutt for skog og landskap

Norsk institutt for luftforskning, NILU

I Norge ble 8 flater intensivt overvåket i 2005 for å følge utviklingen av skogøkosystemet. Disse flatene inngår i det nasjonale «Overvåkingsprogram for skogskader», og er også en del av det europeiske nettverket av intensive skogovervåkingsflater i 37 land med til sammen 800 flater. Intensiv skogovervåking er utført her i landet siden midten av 1980-tallet, med verdifulle tidsserier som kan beskrive endringer i skogøkosystemet. Hovedformålet er å beskrive skogens helsetilstand og belyse virkninger av langtransporterte forurensninger på skogøkosystemet. Resultater fra overvåkingen i 2005 presenteres i denne rapporten.

Trærnes kronetetthet avtok betydelig på de fleste av flatene i 2005. Kronefargen ble derimot bedre på alle unntatt en flate. Dette samsvarer også med observasjoner på skogoppsynets og på landsrepresentative Level 1 flater. De høyeste avsetningene av syre, svovel- og nitrogenforbindelser er fortsatt lengst sør i landet. Konsentrasjonen av svovelforbindelser i luft og nedbør har avtatt med 60–90 % de siste 20 årene, og dette samsvarer med endringer av utslipp i Europa. Mengden av nitrogenforbindelser i nedbør har ikke endret seg like tydelig, men også her er det en nedgang de siste ti åra. Ozonkonsentrasjonene påvirkes antagelig mest av meteorologiske forhold, og her har vi ikke klart å påvise noen klare trender. Det ble ikke observert overskridelser av grenseverdien for ozoneksponering av vegetasjonen i 2005. Graset smyle har økt i mengde på alle tre overvåkingsfeltene på Østlandet de siste åra, mens mengden er redusert i Møre og Romsdal og i Rogaland på Vestlandet. Smylemengden øker vanligvis med økt nitrogendeposisjon, og er derfor en viktig indikatorart.

Vi har ikke klare beviser på at skogen i Norge er direkte eller indirekte skadet av langtransporterte luftforurensninger. I Norge er luftforurensninger og aluminiumsforbindelser i jordvann observert med normalt lavere konsentrasjoner enn grenseverdier for skadelige effekter. Sulfatkonsentrasjoner i jordvann er betydelig påvirket av langtransportert svoveltilførsel, men foreløpig tyder det ikke på at skogen er blitt merkbart skadet. Nitrogendeposisjon har trolig ført til økt tilvekst i skog i Norge mens redusert tilvekst grunnet sulfatdeposisjon er vanskelig å påvise i Norge. Virkningen av nitrogen- og sulfatdeposisjon på trærns tilvekst motvirker imidlertid hverandre, slik at en negativ effekt av sulfatdeposisjon på tilvekst ikke kan utelukkes. Det er totalt sett betydelige forskjeller i observerte målinger mellom flatene, og disse forskjellene kan også tilskrives geologiske, klimatiske, topografiske og skoglige forhold i tillegg til de langtransporterte forurensninger.

Nøkkelord: Skogskader, overvåking, luftforurensninger, nedbør, jordvann, vegetasjon, vitalitet, tilvekst.

SUMMARY

Andreassen, K. *, Clarke, N. *, Røsberg, I. *, Timmermann, V. *, Aas, W. # Intensive forest monitoring in 2005. Results from ICP Forests Level 2 plots in Norway. *Viten fra Skog og landskap* 04/2006. 23 s.

* Norwegian Forest and Landscape Institute

Norwegian Institute for Air Research

In Norway intensive monitoring was carried out at 8 plots in 2005 in order to observe the development of the forest ecosystems. These plots are a part of the Norwegian Monitoring Programme for Forest Damage and are also a part of the European intensive forest monitoring network in 37 countries with a total of about 800 plots. This intensive forest monitoring has been carried out since the middle of the 1980s in Norway, and we have valuable time series that can describe changes in the forest ecosystems. The aim is to describe the forest condition and to study effects of long-range transboundary air pollution on the forest ecosystems. The results of the monitoring in 2005 are presented in this report.

Crown density has decreased considerably at most of the plots in 2005. Crown colour has improved at all plots except one since 2004 due to a decrease in discolouration. This corresponds with observations at the Forest Officers' plots and at the Level 1 plots. The highest deposition of strong acids, sulphur and nitrogen, was still in southern Norway. The average concentration of sulphate in precipitation and of sulphur dioxide and sulphate in air has declined by 60–90 % in the last 20 years. This is in agreement with changes in emissions in Europe. The amount of nitrogen compounds in precipitation has not changed so clearly, but for these too there has been a small reduction over the last ten years. Ozone exposure probably depends mostly on meteorological effects, and no trends have been proven. No exceedance of threshold values for ozone exposure has been observed in 2005. The amount of wavy hair-grass (*Deschampsia flexuosa*) increased slightly on the plots in southeastern Norway in the last years, while it decreased in the counties of Møre og Romsdal and Rogaland in the western part of the country. Increased nitrogen deposition often corresponds with increasing amounts of wavy hair-grass and consequently this is an important indicator.

We have no significant indications that the Norwegian forest is directly or indirectly damaged from long-range transboundary pollutants. In Norway the concentrations of air pollutants and of potentially toxic aluminium in soil water have generally been lower than the threshold values for damage. The effects of nitrogen and sulphate deposition on forest growth counteract each other. Sulphate concentrations in soil water have clearly been influenced by deposition of long-range transboundary sulphur, but there is no indication of forest damage as a result. Nitrogen deposition has probably increased forest growth in Norway, while reduced growth due to sulphate deposition is difficult to indicate in Norway. However, a negative effect of sulphate deposition cannot be excluded. There were considerable differences in the measured values between the plots, which can be attributed to natural differences in climate, geology, topography, and forest condition in addition to long-range transboundary air pollution.

Key words: Forest damage, monitoring, air pollution, precipitation, soil water, vegetation, tree vitality, increment.

INNLEDNING

Intensiv overvåking av skog blir utført på 8 flater i Norge og disse målingene inngår i Overvåkingsprogram for skogskader (OPS). Dette programmet ble opprettet i 1984/85 (Horntvedt et al. 1992). Målsetningen for OPS er å klarlegge skadeomfanget på norsk skog, vise utviklingstendenser over tid, og belyse i hvilken grad langtransporterte luftforurensninger fører til skogskader i Norge. Det er særlig sterk syre, svovel- og nitrogenforbindelser og bakkenært ozon som er av stor interesse i denne sammenheng. Videre skal OPS foreta kritisk vurdering og utvikling av eksisterende og eventuelt nye metoder for overvåking av endringer i skogens vekst og vitalitet, samt jordsmonnets egenskaper.

Bakgrunnen for at skogovervåkingen ble igangsatt var en økende bekymring for at luftforurensninger kunne skade skog. Tidlig på 1980-tallet ble det også rapportert om økende omfang av skogskader i Europa. Særlig oppmerksomhet var det omkring misfarging av barnåler og utglisning av trekroner (Schütt & Cowling 1985).

De intensive overvåkingsflatene inngår i det europeiske nettverket av slike flater (Level II-flater) i overvåkingsopplegget ICP-Forests, International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (Lorenz 1995, EC 1996). I 2005 deltok 37 land i dette arbeidet, og i Europa er det ca 800 intensivt overvåkede flater (UNECE/EC 2005). Ved siden av de intensive overvåkingsflatene har deltakerlandene et nett av systematisk utlagte flater for representative registreringer av trærnes helsetilstand (Level I-flater), og i Norge har vi i tillegg skogoppsynets overvåkingsflater (Horntvedt et al. 1992). To av Level II-flatene (Birkenes og Kårvatn) inngår også i Integrated Monitoring-overvåkingen (ICP Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems – IM). Både ICP-Forests og ICP-IM er underlagt FN-konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger (LRTAP).

Formålet med denne rapporten er å presentere resultater fra registreringene som ble gjort på de intensive flatene i 2005 og utviklingen over flere år for et utvalg av flater.



Figur 1. Intensivt overvåkede flater i Norge (Level II).

Figure 1. Intensive forest monitoring plots in Norway (Level II).

OVERSIKT OVER FLATENE OG MÅLEPROGRAMMET

Av de åtte overvåkingsflatene er seks spredt over Sør-Norge, mens én ligger på Nordvestlandet (Kårvatn) og én i Nord-Norge (Tustervatn) (Figur 1). Tabell 1 gir en oversikt over flatene. De aller fleste av flatene ble anlagt i 1986–88. Hver flate har et areal på omkring ett daa, og er omgitt av en ytre sone hvor enkelte av registreringene foretas. Skogen på de fleste flatene er dominert av gran. Kårvatn er imidlertid i ren furuskog. Innblanding av furu forekommer på mange av de øvrige flatene, og er størst på Osen. I figurer og tabeller er flatene sortert fra sør til nord, noe som omtrentlig gjenspeiler tilførselsmønstre for langtransporterte luftforurensninger.

Med unntak for luftmålinger, har alle flatene identisk måleprogram, og det har stort sett vært uforandret. De siste årene er imidlertid intensiteten betydelig redusert, noe som gjør det vanskeligere å oppdage endringer. Et annet unntak er jordvannsinnsamlingen som på de fleste flatene kom i gang noen år etter opprettelse. Kjemiske analyser er utført ved Skogforsks kjemiske laboratorier etter metoder beskrevet av Ogner et al. (1999). Luftmålinger og kjemiske analyser av luft er utført ved NILU.

Tabell 1. Oversikt over flatene, ordnet fra sør til nord.

Table 1. Characteristics of the plots, ordered from south to north.

Flate <i>Plot</i>		Treslag <i>Tree species</i>	Bonitet <i>Site index</i> (H40)	Alder <i>Age 2005</i>	Etablering <i>Establishm.</i>	Vegetasjonstype <i>Vegetation type</i>	Kvartærgeologi <i>Quaternary geology</i>
BI	Birkenes	gran	12,9	119	naturlig	Bærlyngskog	morene
NE	Nedstrand	gran	17,5	71	plantet	Blåbærskog	morene
PR	Prestebakke *	gran	20,1	101	plantet	Blåbærskog	havavsetning
LD	Lardal	gran	13,2	131	naturlig	Blåbærskog	bunnmorene
HU	Hurdal	gran	17,0	77	naturlig	Blåbærskog	morene
VO	Voss	gran	9,6	153	naturlig	Blåbærskog	morene
OS	Osen	gran+furu	12,4	151	naturlig	Bærlyngskog	morene
KF	Kårvatn-furu	furu	8,1	134	naturlig	Røsslyng-skin- tryteskog	morene
TU	Tustervatn	gran	5,6	156	naturlig	Småbregneskog	morene

* Prestebakke har kun ozonmålinger. Prestebakke has only ozone measurements.

FORURENSNINGER I LUFT

Hovedkomponenter. I 2005 ble svovel og nitrogenforbindelser i luft målt på 6 stasjoner på fastlands-Norge, hvorav fem er tilknyttet OPS flater (Tab. 2).

Innholdet av kalium, natrium, kalsium, magnesium og klorid i luft ble i tillegg også bestemt. Prøver ble tatt døgnetlig eller ukentlig (Søgne).

Tabell 2. Årsmiddelkonsentrasjoner av hovedkomponenter i luft, 2005

Table 2. Annual average concentrations of main components in air, 2005

STASJON	Årsmiddelkonsentrasjoner									
	SO ₂ µg-S/m ³	NO ₂ µg-N/m ³	SO ₄ ²⁻ µg-S/m ³	sum NO ₃ µg-N/m ³	sum NH ₄ µg-N/m ³	Ca ²⁺ µg/m ³	K ⁺ µg/m ³	Mg ²⁺ µg/m ³	Na ⁺ µg/m ³	Cl- µg/m ³
Birkenes	0,19	0,46	0,46	0,33	0,75	0,06	0,05	0,06	0,46	0,39
Søgne	0,30		0,55	0,62	1,06	0,09	0,08	0,10	0,77	0,85
Hurdal	0,12	0,83	0,40	0,24	0,66	0,05	0,06	0,02	0,20	0,09
Kårvatn	0,07	0,22	0,18	0,14	0,65	0,03	0,02	0,02	0,18	0,18
Tustervatn	0,08	0,14	0,21	0,10	1,00	0,04	0,02	0,03	0,28	0,36
Karasjok*	0,31	0,17	0,30	0,11	0,16	0,03	0,03	0,03	0,21	0,23

* Kun NH₄-konsentrasjonen som er inkludert for sum NH₄.

Årsmiddelkonsentrasjonene av svoveldioksid var høyest langs kysten i Sør-Norge og i Finnmark, representert med h.h.v. Søgne på 0,30 og µg S·m⁻³ og Karasjok med 0,3 µg S·m⁻³. Stasjonen Karasjok er ikke tilknyttet OPS programmet, men er representativ for regionen. Sulfatkonsentrasjonen er høyest i Sør-Norge. Månedsmiddelet av SO₂ og SO₄²⁻ var gjennomgående høyest i vintermånedene. De høyeste døgnmiddelverdier, årsmiddel- og prosentkonsentrasjonene av NO₂ observeres på stasjonene i Sør- og Øst-Norge. Høyeste årsmiddelverdier for «sum nitrat» (HNO₃+NO₃⁻) og «sum ammonium» (NH₃+NH₄⁺) hadde Søgne med hhv.

0,62 og 1,06 µg N·m⁻³. Det ble målt enkelte høye døgnmiddelkonsentrasjoner ved de fleste andre stasjoner også. Årstidsvariasjonen av «sum nitrat» var liten de fleste steder, men de høyeste månedsmidlene observeres i februar-april. «Sum ammonium» viste høyeste nivå i vår- og sommermånedene.

Den totale avsetningen av nitrogen og svovel er summen av det som avsettes i form av nedbør (våtavsetning) og avsetningen av gasser og partikler (tørravsetning). Tørravsetningen av svovel- og nitrogenkomponenter er markert større om sommeren enn om vinteren i alle landsdelene unntatt i Finn-

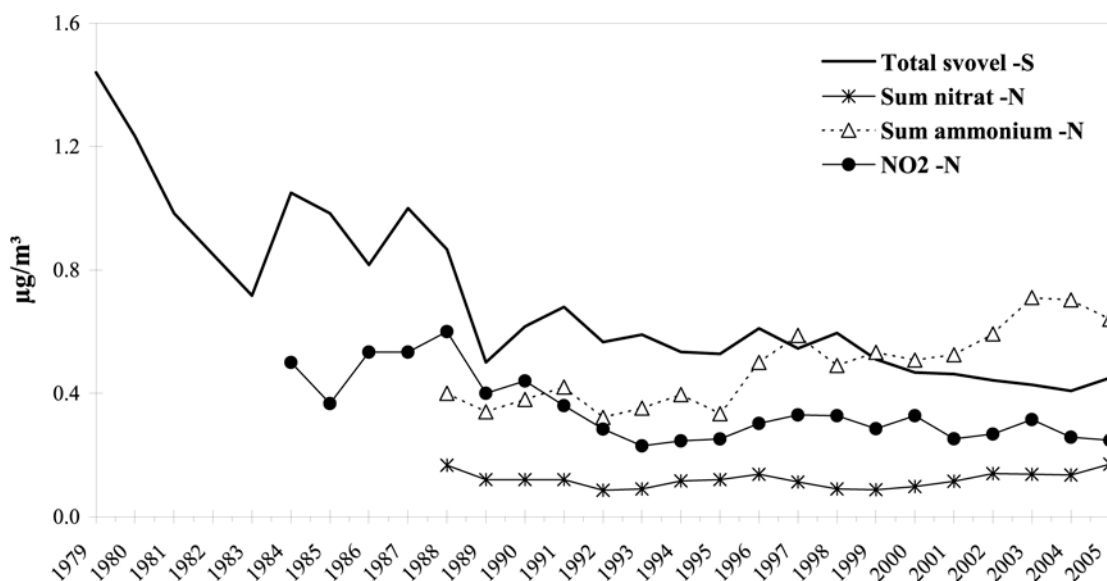
mark. Bidraget av tørravsett svovel til den totale avsetningen var 20–51 % om sommeren og 5–17 % om vinteren i alle landsdeler unntatt Finnmark. På grunn av høye luftkonsentrasjoner og lite nedbør er dette tørravsetningsbidraget meget høyt i Finnmark (hhv. 50 % tørravsetning om sommeren og 53 % om vinteren). Tørravsetningen for nitrogenkomponentene bidrar for det meste relativt mer til totalavsetningen enn hva som er tilfelle for svovel-forbindelser, især om sommeren.

Endringer i luftens innhold av svovel- og nitrogenforbindelser samsvarer godt med rapporterte endringer i utslipp i Europa (EMEP 2005). Siden 1980 har den gjennomsnittlige observerte reduksjonen av SO_2 konsentrasjonen i Norge vært mellom 72 % og 92 % og for sulfatpartikler mellom 65 % og 73 %. Årsmiddelkonsentrasjonen av nitrogenforbindelsene i luft viser ingen markert tendens siden målingene startet i 1986, utenom en relativt tydelig nedgang for NO_2 etter 1990 (Figur 2).

Ozon. I 2005 ble ozonkonsentrasjonen målt med UV monitor på åtte OPS flater inklusive stasjonen på Prestebakke som ikke lenger har skogobservasjoner. Det benyttes flere ulike kriterier for å vurdere mulige effekter av ozon på skog og vegetasjon. Norske anbefalte luftkvalitetskriterier for beskyttelse av plantevekst er de samme som tålegrensene fastsatt av ECE (1996). Tålegrensene skal reflektere vegetasjonens vekstsesong. Vekstsesongens lengde varierer med planteslag og breddegrad, og 6-månedersperioden april-september er valgt som

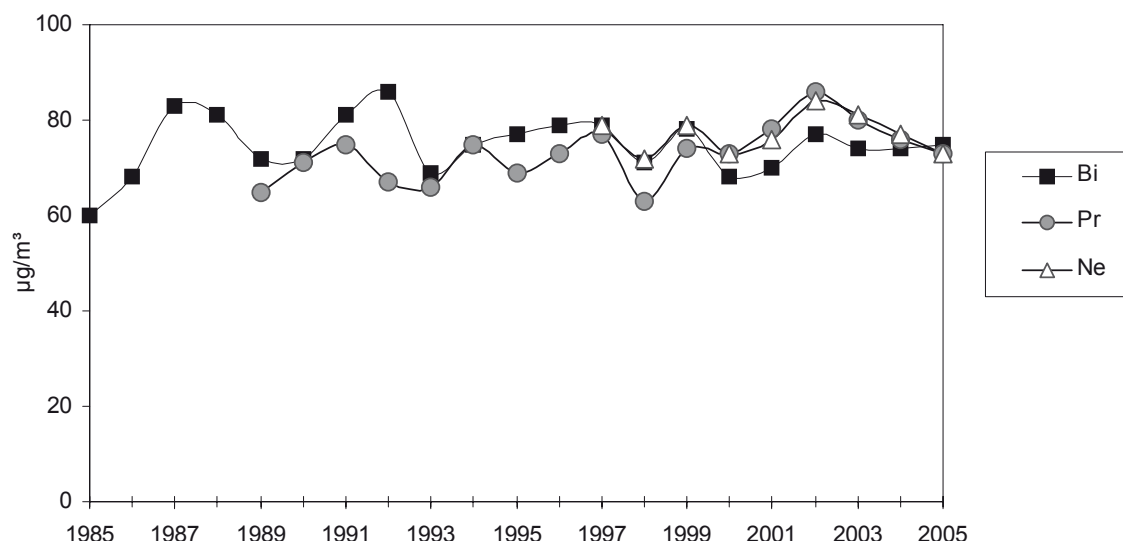
vekstsesong. EUs ozondirektiv fastsetter også grenseverdier for beskyttelse av plantevekst. I tillegg er det under UN ECE utarbeidet kriterier basert på akkumulert eksponering over terskelverdien 40 ppb ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Accumulated exposure over the threshold of 40 ppb, betegnes AOT40). I EUs nye ozondirektiv (EU 2002) benyttes også grenseverdier for vegetasjon basert på AOT40. AOT40 beregnes som summen av differansen mellom timemiddelkonsentrasjonen og 40 ppb for hver time der ozonkonsentrasjonen overskrider 40 ppb.

Det var ingen overskridelser av grenseverdien for vegetasjon på $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2005. Grenseverdien på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som 7-timers middel for kl. 09–16 i vekstsesongen (april-september) ble overskredet i hele landet i 2005. Middelverdien var størst på Birkenes ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), men det er generelt liten variasjon i denne parameteren over landet. Ozonkonsentrasjonene påvirkes i stor grad av meteorologiske forhold og har variert betydelig fra år til år. Figur 3 viser 7-timers middelverdi på tre stasjoner for perioden 1985–2005. Figuren viser at det er en del variasjon fra år til år, og at det ikke er noen markert endring i denne parameteren over perioden. Grenseverdien på 8-timers middel over $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ble overskredet gjennom hele 6-månedersperioden april-september. Birkenes hadde flest døgn med overskridelse, 162, dvs 89 % av samtlige dager i denne 6-måneders perioden. Grenseverdien for landbruksvekster, 3000 ppb-timer, ble ikke overskredet på noen av de norske



Figur 2. Midlere årlige konsentrasjoner i luft av total svovel ($\text{SO}_2 + \text{SO}_4^{2-}$), oksidert nitrogen ($\text{HNO}_3 + \text{NO}_3$), redusert nitrogen ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) og NO_2 på fire norske bakgrunnstasjoner.

Figure 2. Average annual mean concentrations of airborne sulphur, oxidized and reduced nitrogen compounds at four Norwegian background sites, 2005.



Figur 3. Middelkonsentrasjon av ozon for sju timer (kl 09–16) i vekstsesongen (1. april – 1. okt.) fra 1985 til 2005 (lokaliteter – jmf. Tab. 1)

Figure 3. 7 hrs concentrations of ozone (09am–04pm) in the growing season (1st Apr. – 1st Oct.) from 1985 to 2005 (locations – see Tab. 1)

målestasjonene i 2005. Grenseverdien på 10.000 ppb-timer for skog ble heller ikke overskredet på noen av stasjonene i 2005. Høyest var verdien på Birkenes med 4766 ppb-timer.

Nedbør og kronedrypp

Som i tidligere år er nedbør og kronedrypp samlet inn annenhver uke om vinteren og hver uke om sommeren. Med nedbør menes her frittfallende nedbør innsamlet på ei åpen flate nær skogen, mens kronedrypp er nedbør samlet inn i skogen omtrent 50 cm over bakken. I 2005 ble de ukentlige prøvene slått sammen til en fellesprøve for hver 4 ukers periode. Analysemetodene var som i 2004 (jmf. Ogner et al. 1999).

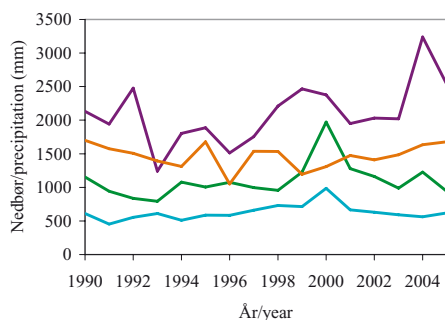
Volumveide årsmiddelkonsentrasjoner er beregnet for noen viktige elementer og forbindelser, mens pH er beregnet ut fra volumveide årsmiddelverdier av H^+ -aktivitet (Tab. 3). Ved konsentrasjoner under analysemetodens deteksjonsgrense, er verdien satt lik halve deteksjonsgrensen. Sulfat fra menneskeskapte utslipp er beregnet ut fra sjøsaltkorrigerte konsentrasjoner av sulfat-S (ikke marint, $nmSO_4-S$) etter formelen: $nmSO_4-S = SO_4-S - (0,054 \cdot Cl)$. Beregnet deposisjon (årlige mengder per kvadratmeter, dvs konsentrasjon ganget med vannmengde) er vist i Tabell 4. Deposisjon består hovedsakelig av våtavsetning fra nedbør, men inneholder også tørravsetning. Trærnes kroner fanger opp en

del av denne tørravsetningen, hvilket bidrar til at deposisjon og konsentrasjoner i kronedrypp under trekronene ofte er høyere enn i nedbør. I tillegg forekommer det prosesser i kronen, for eksempel utvasking fra barnåler, og det bidrar også til forskjell i konsentrasjon og deposisjon mellom nedbør og kronedrypp.

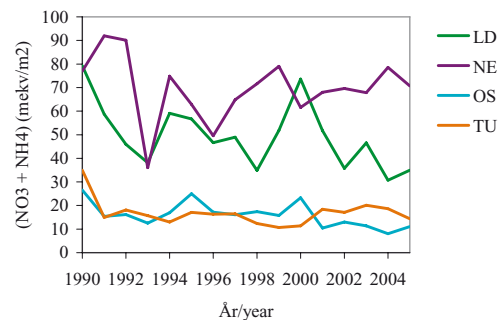
På flatene i Sør-Norge var pH lavest og konsentrasjonene av NO_3 , NH_4 og antropogent SO_4 høyest i nedbør og kronedrypp.

Figur 4 viser langtidstrender i deposisjon av ikke-marint SO_4^{2-} og $(NO_3^- + NH_4^+)$ i frittfallende nedbør på fire av feltene (Lardal, Nedstrand, Osen og Tustervatn).

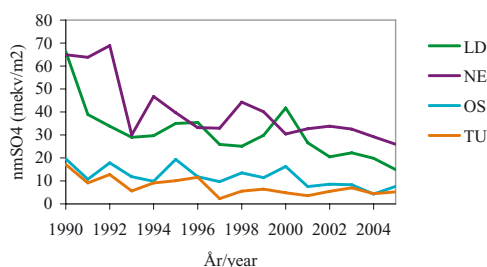
Deposisjon av antropogent sulfat viser en svak nedgang de siste 12 årene, sammenlignet med den store nedgangen vi hadde på flatene i Sør-Norge tidlig på 1990-tallet. Deposisjon av nitrogenforbindelser ser ut til å holde seg relativt konstant, men det er likevel en svak nedgang på noen av flatene.



a. Nedbør/bulk precipitation.



c. $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$.



b. Ikke-marint/non-marine SO_4^{2-} .

Figur 4. Langtidstrender i nedbørsmengde, ikke-marint SO_4^{2-} og $(\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+)$ i frittfallende nedbør på Lardal, Nedstrand, Osen og Tustervatn.

Figure 4. Long-term trends in bulk precipitation amount and in non-marine SO_4^{2-} and $(\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+)$ in precipitation at Lardal, Nedstrand, Osen and Tustervatn. a. Nedbør/bulk precipitation. b. Ikke-marint/non-marine SO_4^{2-} . c. $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$.

Tabell 3. Volumveide årsmiddelkonsentrasjoner (mg/l) i nedbør og kronedrypp i 2005, der mm = nedbørsmengde, Led = lednings-evne (mS/cm), Tot-N = total N, DOC = løst organisk karbon, nm = ikke marint

Table 3. Volume-weighted mean concentrations (mg/l) in bulk precipitation and throughfall in 2005, where mm = amount of precipitation, Led = electrical conductivity (mS/cm), Tot-N = total N, DOC = dissolved organic carbon, nm = non-marine

Felt	mm	Led	PH	Ca	K	Mg	Na	NH4-N	NO3-N	Tot-N	S04-S	nmS04-S	Cl	DOC
Nedbør/bulk precipitation														
NE	2538	33	4,9	0,21	0,18	0,42	4,04	0,19	0,20	0,45	0,57	0,16	7,4	0,9
LD	942	14	4,9	0,10	0,20	0,04	0,41	0,25	0,27	0,60	0,30	0,25	0,8	2,0
VO	1661	9	5,1	0,07	0,05	0,03	0,48	0,09	0,10	0,24	0,16	0,11	0,9	0,8
OS	620	10	5,0	0,09	0,12	0,02	0,20	0,12	0,13	0,42	0,21	0,20	0,3	1,6
KF	1447	12	5,3	0,10	0,09	0,11	1,33	0,11	0,05	0,23	0,19	0,06	2,3	1,0
TU	1679	14	5,3	0,09	0,11	0,11	1,35	0,07	0,05	0,22	0,18	0,05	2,4	1,0
Kronedrypp/throughfall														
BI	1133	36	4,9	0,45	1,44	0,32	2,41	0,30	0,35	0,97	0,66	0,43	4,4	9,9
NE	1944	84	5,0	0,83	1,94	1,66	12,76	0,29	0,51	0,95	1,51	0,18	24,6	5,5
LD	852	19	5,1	0,22	1,42	0,09	0,66	0,20	0,19	0,60	0,36	0,29	1,3	8,6
HU	635	22	5,1	0,27	1,21	0,08	0,79	0,38	0,28	1,04	0,41	0,33	1,3	8,1
VO	1247	11	5,2	0,10	0,52	0,05	0,67	0,08	0,08	0,25	0,19	0,12	1,2	3,5
OS	527	14	5,0	0,15	1,15	0,05	0,32	0,06	0,06	0,28	0,17	0,14	0,6	10,3
KF	1314	14	5,3	0,11	0,27	0,11	1,46	0,11	0,04	0,20	0,19	0,05	2,6	2,4
TU	1340	33	5,1	0,25	1,08	0,28	3,18	0,08	0,03	0,35	0,33	0,02	5,7	9,0

Tabell 4. Deposisjon (mg/m²) i 2005. Tot-N = total N, nm = ikke-marint, DOC = løst organisk karbon,

M = manglende verdi

Table 4. Deposition (mg/m²) in 2005. Tot-N = total N, nm= non-marine, DOC = dissolved organic carbon, M = missing value

Felt	H	Ca	K	Mg	Na	NH4-N	NO3-N	Tot-N	SO4-S	NmSO4-S	Cl	DOC
<i>Nedbør/bulk precipitation</i>												
NE	0,032	533	452	1069	10262	482	508	1142	1447	417	18858	2284
LD	0,012	94	189	34	382	235	254	565	283	239	735	1884
VO	0,013	116	83	48	797	150	166	399	266	188	1429	1329
OS	0,006	56	73	15	123	74	81	260	130	122	186	992
KF	0,007	145	133	152	1923	159	72	333	275	89	3328	1447
TU	0,008	151	180	183	2258	118	84	369	302	84	4062	1679
<i>Kronedrypp/throughfall</i>												
BI	0,013	510	1635	362	2726	340	396	1099	748	483	4972	11213
NE	0,019	1614	3762	3233	24805	564	991	1847	2935	350	47822	10692
LD	0,007	187	1213	76	559	170	162	511	307	247	1090	7326
HU	0,005	171	767	51	499	241	178	660	260	212	850	5140
VO	0,008	125	647	62	829	100	100	312	237	153	1521	4363
OS	0,005	79	604	26	170	32	32	148	90	74	295	5427
KF	0,007	145	353	143	1919	145	53	263	250	65	3429	3153
TU	0,010	335	1442	378	4260	107	40	469	442	28	7654	12064

JORDVANN

Jordvannprøver fra lysimeteranlegg er innsamlet på samme måte som i tidligere år. Lysimetrene er plassert slik at de suger vann fra den nedre grensen av humussjiktet (5 cm jorddybde), og fra både øvre og nedre del av mineraljorda (15 og 40 cm jorddybde). For det meste har feltene sylindformede tensjons-lysime- tre (lysime- tre med sug) av varemerket Pre- nart, oftest tre i hvert sjikt. Disse vil suge vann fra et område både over og under den teoretiske dybden. Overvåkingsflaten på Birkenes har tensjonsplatel- ysime- tre i 15 cm-sjiktet. Platel- ysime- trene suger vann bare fra området over lysimeteret. I 2005 ble

jordvannet samlet inn hver uke i den frostfrie og telefrie delen av året, og slått sammen til en prøve for hver 4 ukers periode. Analysemetodene var for øvrig som i 2004 i h.h.t. Ogner et al. (1999).

Tabell 5 viser volumveide årsmiddelkonsentrasjo- ner, mens pH er beregnet ut fra volumveide årsmid- delverdier for H⁺-aktivitet. Der konsentrasjonen har vært under deteksjonsgrensen, er den satt lik halve deteksjonsgrensen. Sjøsaltkorrigerte konsentrasjo- ner av sulfat-S (ikke marint, nmSO₄-S) er beregnet ut fra formelen: nmSO₄-S = SO₄-S – (0,054 * Cl).

Tabell 5. Volumveide middelkonsentrasjoner (mg/l) i jordvann i 2005, der Led = ledningsevne (mS/cm), Tot = total, Lab = labil, nm = ikke marint, DOC = løst organisk karbon, * = platelysimeter, M = manglende verdi

Table 5. Volume-weighted mean concentrations (mg/l) in soil solutions in 2005, where Led = electrical conductivity (mS/cm), Tot = total, Lab = labile, nm = non-marine, DOC = dissolved organic carbon, * = plate lysimeters, M = missing value

Felt	Sjikt	Led	pH	Tot-Al	Lab-Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	NH4-N	NO3-N	Tot-N	S04-S	nmS04-S	Cl	DOC
BI	15*	31	4,4	0,90	0,44	0,23	0,12	0,02	0,13	0,001	2,33	0,07	0,03	0,36	0,72	0,61	2,0	20,0
BI	40	42	4,6	0,66	0,55	0,25	0,10	0,04	0,27	0,002	4,22	0,06	0,03	0,18	1,38	1,01	6,9	4,2
NE	5	58	4,5	0,88	0,12	0,92	0,23	0,26	0,45	0,006	6,50	0,15	0,03	0,54	0,79	0,19	11,1	21,1
NE	15	94	4,3	0,80	0,33	0,49	0,18	0,56	0,97	0,036	10,60	0,14	0,03	0,56	1,43	0,42	18,6	20,8
NE	40	77	4,8	0,62	0,59	0,17	0,01	0,45	1,06	0,086	10,03	0,05	0,03	0,11	1,97	0,92	19,4	1,3
LD	5	15	5,1	0,28	0,06	0,35	0,13	0,14	0,22	0,024	1,74	0,23	0,04	0,54	0,55	0,43	2,2	7,1
LD	15	18	5,9	0,09	0,02	0,58	0,06	0,03	0,24	0,024	2,07	0,13	0,05	0,34	0,83	0,73	1,9	4,4
LD	40	22	6,3	0,04	0,02	1,12	0,01	0,01	0,35	0,004	2,14	0,05	0,21	0,33	1,23	1,13	2,0	1,6
HU	5	45	4,0	1,09	0,39	0,29	0,23	0,32	0,07	0,019	1,39	0,10	0,03	0,70	0,29	0,26	0,6	32,4
HU	15	12	5,1	0,22	0,16	0,08	0,02	0,10	0,03	0,005	1,10	0,04	0,03	0,11	0,60	0,56	0,8	2,8
HU	40	13	5,2	0,13	0,11	0,16	0,01	0,10	0,05	0,026	1,33	0,04	0,03	0,08	0,88	0,83	0,9	0,8
VO	5	14	5,1	0,12	M	0,07	0,01	0,01	0,07	0,012	0,58	0,07	0,02	0,15	0,21	0,17	0,7	M
VO	15	10	5,2	0,13	0,06	0,15	0,02	0,01	0,13	0,041	0,95	0,07	0,03	0,23	0,36	0,31	1,0	3,7
VO	40	12	5,6	0,11	0,06	0,20	0,02	0,04	0,14	0,110	1,13	0,15	0,03	0,26	0,46	0,37	1,6	2,1
OS	5	28	4,4	1,01	0,44	1,04	0,76	0,91	0,30	0,092	0,58	0,05	0,03	0,54	0,21	0,18	0,6	35,8
OS	15	20	4,7	0,51	0,21	0,71	0,50	0,32	0,40	0,015	0,41	0,04	0,03	0,38	0,15	0,13	0,4	23,7
OS	40	12	5,1	0,35	0,15	0,28	0,08	0,54	0,11	0,018	0,55	0,03	0,03	0,18	0,46	0,44	0,4	8,4
KF	5	24	4,7	0,78	M	0,25	0,29	0,08	0,22	0,003	2,60	0,14	0,03	0,56	0,16	0,03	2,4	17,1
KF	15	17	5,5	0,50	0,28	0,13	0,10	0,07	0,17	0,001	2,52	0,05	0,03	0,16	0,23	0,08	2,9	8,1
KF	40	19	5,3	0,68	0,36	0,16	0,16	0,20	0,21	0,001	2,62	0,06	0,03	0,24	0,20	0,03	3,2	11,7
TU	5	16	6,2	0,21	0,09	0,25	0,05	0,27	0,18	0,001	2,20	0,05	0,03	0,19	0,40	0,30	1,8	6,0
TU	15	25	6,3	0,06	0,04	0,35	0,01	0,32	0,33	0,001	3,30	0,04	0,03	0,10	0,87	0,69	3,4	1,8
TU	40	28	6,4	0,02	0,02	0,27	0,01	0,48	0,31	0,001	3,81	0,03	0,03	0,07	1,37	1,20	3,1	0,9

Resultatene av jordvannsanalysene for 2005 viser samme geografiske mønster som tidligere år for pH i jordvann som generelt var lavest på flatene i Sør-Norge. Det er uklart om dette skyldes sur nedbør eller et naturlig surere jordsmonn sør i landet. Ikke-marint sulfat var likevel ikke høyere på flatene i sør enn på Tustervatn nord i landet. Gjennomsnittskonsentrasjoner av nitrat i jordvann var nær eller under deteksjonsgrensen på alle flater, unntatt Lardal der det var relativt høye nitratkonsentrasjoner ved 40 cm dybde på våren.

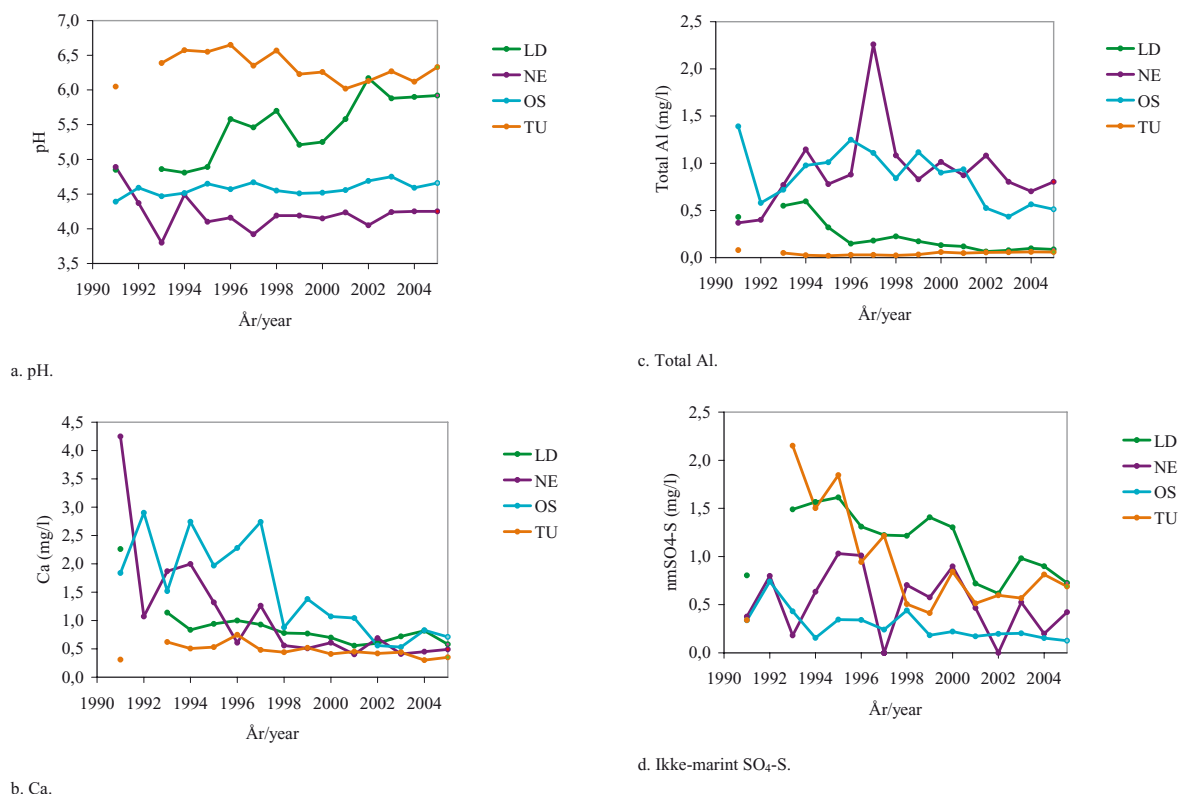
Konsentrasjoner av total og labil aluminium var ikke alltid høyere i sør enn nord i landet, noe som stemmer med resultatene til Lange et al. (2006). De fant ingen sør-nord mønster i aluminiumkonsentrasjonene i norsk skogsjord, verken for gjennomsnittsverdier, maksimumsverdier eller i tidstrender.

Som i tidligere år, ble labil aluminium bestemt med bruk av en kationbyttemetode (Wickstrøm et al. 2000, metode E). Denne metode måler en fraksjon, labil aluminium, som består mest av kationforbindelser av aluminium. Disse fraksjonene er sannsyn-

ligvis de mest toksiske for trær og planter (Kinraide 1991). Det er nylig vist at verdier som er bestemt på laboratoriet med denne metode samsvarer med verdiene som er bestemt på helt ferske prøver i felt (Wu et al. 2006). Dette betyr at metoden er godt egnet til aluminiumfraksjonering.

Aluminiumtoksisitet til gran er avhengig av pH. Ved pH 4,0–5,0, kan aluminiumkonsentrasjoner ved 2,70 mg/l redusere rottilvekst hos små granplanter (Godbold et al. 1995). Kun 14 målinger av labil Al, av totalt 2709 fra og med 1996 til og med 2005, viser konsentrasjoner over denne verdien. I ti av disse prøvene var pH mellom 4 og 5, men ingen av disse prøvene ble tatt i 2005.

Det kan ikke utelukkes at kortvarige episoder med høyere konsentrasjoner av labil Al kan ha forekommet, da dette er vanskelig å oppdage siden ukentlige prøver blir sammenslått til fireukersperioder ved analysene. Korte episoder med høye konsentrasjoner av labil Al kan forekomme i forbindelse med stormer med høye konsentrasjoner av sjøsalter: Sjøsaltepisoder er den viktigste forklaringsvari-



Figur 5. Langtidstrender i pH, Ca, total Al og ikke-marint SO₄-S i jordvann fra 15 cm-sjiktet på Lardal, Nedstrand, Osen og Tustervatn. *Figure 5. Long-term trends in pH, Ca, total Al and non-marine SO₄-S in soil water from 15 cm depth at Lardal, Nedstrand, Osen and Tustervatn. a. pH. b. Ca. c. Total Al. d. Ikke-marint SO₄-S.*

abel til høye aluminiumkonsentrasjoner i norsk skogsjordvann (Lange et al. 2006). Av de 14 prøvene med konsentrasjoner av labil Al større enn 2,70 mg/l, har bare 11 av disse forekommet i forbindelse med sjøsaltepisoder. Til tross for dette, har vi ikke funnet noen tydelig forskjell mellom kystnære og innlandsflater (Lange et al. 2006). Geografisk mønster er dog vanskelig å påvise med vårt relativt lave flateantall og få prøver.

Konsentrasjoner av aluminium i vann i skogsjord kan dessuten være avhengige av lokale faktorer (for eksempel kvartærgeologien), isteden for regionale faktorer som depositionsjon.

Langtidstrender for pH, Ca, total Al og ikke-marint SO₄-S i 15 cm dybde er vist på fire av feltene (Lar-

dal, Nedstrand, Osen og Tustervatn) (Figur 5). Det må bemerkes at det har vært noen mindre endringer i lysimeteroppleggene gjennom årene, og dette kan ha påvirket resultatene noe.

Figur 5 viser en tydelig økning av pH i Lardal i løpet av de siste 11 årene, mens på de andre flatene er pH ganske stabil. Kalsiumkonsentrasjonene er redusert på flatene i sør. Lardal og Osen viser en trend i aluminiumkonsentrasjoner, med lavere konsentrasjoner nå enn tidlig på 1990-tallet. Aluminiumtoppen på Nedstrand i 1997 skyldes en sjøsaltepisode. Konsentrasjoner av ikke-marint (antropogent) sulfat på Osen og Tustervatn er tydelig redusert siden tidlig på 1990-tallet.

VEGETASJON

I 2005 ble det foretatt registreringer av frekvens (rute 1–10) og dekning (rute 1–50) av enkeltarter på flaten Nedstrand. I 2000 ble i tillegg til Nedstrand også Søgne, Langtjern og Svanhøvd undersøkt (Solberg et al. 2001), men disse felte er siden stilt i bero. Vegetasjonen på de intensive overvåkingsflatene er blitt fulgt siden etableringen i 1986 (OPS 1989), og de første registreringene ble gjort i løpet av 1986–89. Det ble utlagt 10 ruter á 1 x 1 m langs ytterkanten av hver overvåkingsflate. Disse registreringene er utført som frekvensanalyser ved at ei ramme inndelt i 25 småruter ble lagt over ruta på 1 m² (OPS 1989), og deretter ble antall småruter med forekomster av hver planteart talt opp. Ved andre gangs registrering i 1991–93 ble antall ruter á 1 m² utvidet til 50 pr flate (Solberg et al. 1999). Utvidingen skjedde primært i ei 5 m randsone, men med visse tilpasninger til terrengforhold. Det store antallet ruter antas å dekke variasjonen i felt- og bunnvegetasjonen på flatene. Fra 2003 ble det utlagt 5 ekstra storruiter á 70 m² (10 x 7 m) i området som OPS-flaten ligger i, i h.h.t. en oppgradering av ICP-Forest manualen. Disse storrutene er forelø-

pig ikke rapportert her siden bare førstegangsregistrering er utført, men data finnes i databasen til OPS. Vegetasjonen registreres ved å anslå den enkelte arts dekningsgrad i prosent.

Tabell 6 viser dekningsprosenten etter registreringene i 2000 og 2005. Gjennomsnitt for artenes dekningsprosent er utreknet på grunnlag av deknningen over 50 ruter og inkluderer dermed også ruter der artene ikke finnes. For de fleste arter er det små endringer i artssammensetningen på rutene i 2005 i forhold til 2000. Mengden (dekning eller dekningsprosent) av blåbær (*Vaccinium myrtillus*) ble derimot mer enn halvert fra 2000 til 2005, fra 5,6 % til 2,6 %, mens nedgangen var noe mindre for smyle (*Deschampsia flexuosa*), fra 3,4 til 2,4 %. Samlet sett var det en ubetydelig nedgang for sigdmosene. Også matteflette (*Hypnum cypressiforme*) og kystbinnemose (*Polytrichum formosum*) hadde nedgang i dekning med henholdsvis 1,6 og 0,8 %. Derimot økte deknningen av etasjemose (*Hylocomium splendens*) og kystkransmose (*Rhytidiadelphus loreus*) med henholdsvis 1,0 og 0,9 % fra 2000 til 2004.

Tabell 6. % dekning av de vanligste artene på flaten i Nedstrand (registrert begge årene 21–23. juni). Juv(venil) betyr her en ung treplante, dvs at den er i feltsjiktet. Frø betyr en treplante spirt i registreringsåret eller året før. Sp er en art som bare er bestemt til slekt. Table 6. % cover of the most common species at the Nedstrand plot (registered both years 21–23th of June). Juv=Juvenile tree in the ground layer. Frø=Juvenile tree germinated present or previous year. Sp=species.

Art	Latinsk navn	Dekning (%)	
		2000	2005
Gran	Picea abies	44,2	46,4
Sitkagran	Picea sitchensis	3,7	4
Furu	Pinus sylvestris	2,7	2,12
Dunbjørk	Betula pubescens	0,92	0,84
Edelgran, busksjikt	Abies alba, busk	0,1	0,1
Gran, feltsjikt	Picea abies juv felt	0	0,04
Sitkagran, feltsjikt	Picea sitchensis juv felt	0,02	0,02
Hemlokk, feltsjikt	Tsuga heterophyllum juv felt	0,04	0,02
Eik, feltsjikt	Quercus juv felt	0	0,06
Rogn, feltsjikt	Sorbus aucuparia juv felt	0	0,04
Gran, frøplante	Picea abies juv frø	0,1	0,5
Sitkagran, frøplante	Picea sitchensis juv frø	0	0,02
Hemlokk, frøplante	Tsuga heterophyllum juv frø	0	0,02
Platanlønn, frøplante	Acer pseudoplatanus frø	0	0,02
Dunbjørk, frøplante	Betula pubescens juv frø	0	0,04
Eik, frøplante	Quercus sp frø	0	0,02
Rogn, frøplante	Sorbus aucuparia frø	0,24	0,12
Blåbær	Vaccinium myrtillus	5,6	2,6
Tyttebær	Vaccinium vitis-idaea	0,24	0,16
Bråtestarr	Carex pilulifera	0,02	0
Smyle	Deschampsia flexuosa	3,44	2,44
Bjønnekam	Blechnum spicant	0,3	0,14
Maiblom	Maianthemum bifolium	0,02	0,02
Stormarimjelle	Melampyrum pratense	0,28	0,38
Gaukesyre	Oxalis acetosella	0,28	0,38
Einstape	Pteridium aquilinum	0,04	0
Skogstjerne	Trientalis europaea	0,06	0,06
Lundmose	Brachythecium sp	0	0,02
Blanksigd	Dicranum majus	16,34	17,5
Ribbesigd	Dicranum scoparium	1,02	0,96
Sigdmose ubest.	Dicranum sp	0,88	0,28
Etasjemose	Hylocomium splendens	9,76	10,74
Matteflette	Hypnum cypressiforme	9,6	7,98
Kysttornemose	Mnium hornum	0,22	0,26
Kystjamnemose	Plagiothecium undulatum	5,44	5,82
Furumose	Pleurozium schreberi	1,06	1,14
Kystbinnemose	Polytrichum formosum	1,86	1,04
Narremose	Pseudoscleropodium purum	0,04	0,2
Fjørmose	Ptilium crista-castrensis	0,66	0,28
Kystkransmose	Rhytidiadelphus loreus	6,46	7,38
Engkransmose	Rhytidiadelphus squarrosus	0	0,02
Stortujamose	Thuidium tamariscinum	2,48	2,64
Reinlav	Cladonia sp	0,06	0,04

I 2004 ser vi at det har vært oppslag av frøplanter av gran, sitkagran, hemlokk, platanlønn, dunbjørk og eik. Av andre arter ble lundmose (*Brachythecium* sp) og engkransmose (*Rhytidiadelphus squarrosus*) registrert som nye for flata. Einstape (*Pteridium aquilinum*) og bråtestarr (*Carex pilulifera*) hadde gått ut siden registreringen i 2000.

Tabell 7 viser frekvensregistreringen som er gjort på 10 ruter i både 2000 og 2005. Forekomsten av artene er her omregnet til flatens gjennomsnitt i prosent. Frekvensen av blåbær viste tilbakegang som for dekningsprosenten, mens frekvensen av smyle (*Deschampsia flexuosa*) økte svakt. Øknin-

gen i frekvensen av etasjemose er noe større, fra 31,6 til 42 %. Kystkransmose har framgang fra 16 til 22,4 % og kystjamnemose (*Plagiothecium undulatum*) øker fra 32 til 42 %. Størst «endring» var det for stormarimjelle (*Melampyrum pratense*) som ikke ble registrert i 2000, men som i 2005 hadde en forekomst på 9,2 %. Frekvensen av narremose (*Pseudoscleropodium purum*) økte fra 0,8 % i 2000 til 4 % i 2005. Det var ingen arter som hadde statistisk sikre endringer av deknningen mellom 2000 og 2005 når vi ser bort fra nyregistreringer eller utgåtte arter.

Tabell 7. Gjennomsnitt frekvens i % for 10 ruter på flaten i Nedstrand i 2000 og 2005.

Table 7. Mean frequency in % for 10 small plots at Nedstrand.

Art	Latinsk navn	Frekvens (%)	
		2000	2005
Gran, frøplante	<i>Picea abies</i> , juv frø	2,4	8,4
Rogn, busk	<i>Sorbus aucuparia</i> , busk	2	0
Rogn, frøplante	<i>Sorbus aucuparia</i> , juv frø	0	0,8
Dunbjørk, frøplante	<i>Betula pubescens</i> , juv frø	0	0,4
Blåbær	<i>Vaccinium myrtillus</i>	16,4	14,4
Smyle	<i>Deschampsia flexuosa</i>	38	39,6
Bjørnnkam	<i>Blechnum spicant</i>	1,2	0,4
Stormarimjelle	<i>Melampyrum pratense</i>	0	9,2
Gaukesyre	<i>Oxalis acetosella</i>	2,4	0,8
Lundmose	<i>Brachythecium</i> sp	0	0,4
Sigdmoser	<i>Dicranum</i> sp (maj scop)	62,4	63,6
Etaasjemose	<i>Hylocomium splendens</i>	31,6	37,6
Mattemose	<i>Hypnum cypressiforme</i>	46	41,6
Kysttornemose	<i>Mnium hornum</i>	2,8	3,6
Kystjamnemose	<i>Plagiothecium undulatum</i>	36	42
Furumose	<i>Pleurozium schreberi</i>	6,8	7,6
kystbinnemose	<i>Polytrichum formosum</i>	20,8	20,4
Narremose	<i>Pseudoscleropodium purum</i>	0,8	4
Kystkransmose	<i>Rhytidiadelphus loreus</i>	16	22,4
Stortujamose	<i>Thuidium tamariscinum</i>	4	5,2
Engkransmose	<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	0,4	0
Reinlav	<i>Cladonia</i> sp	0,8	0,4

Felt- og bunnsjiktvegetasjonen på Nedstrandflaten dekker en relativt liten del av arealet. Dette skyldes at flaten er anlagt i et plantefelt med høy skogproduksjon og stort strøfall som igjen fører til at moser og feltsjiktarter får problemer med å etablere seg og å ekspandere. Det er derfor usikkert om alle artene som har etablert seg med frøplanter vil overleve det første kritiske året. På den annen side har Nedstrand et gunstig klima som gjør at mange arter har rimelig lett for å etablere seg når de først har spirt.

Trærnes vitalitet

Kronebedømmelse er en subjektiv vurdering av det enkelte treets vitalitet målt i form av kronetetthet, kronefarge, skader, blomst- og konglemengde samt 15 andre variabler i h.h.t. ICP-forests manualen. Kronetetthet er definert som mengden av levende bar i krona, oppgitt i prosent (0–99 %) av en antatt fulltett krone, der det er tatt hensyn til treets potensial på voksestedet og dets sosiale status. Redusert barmasse som følge av påvirkning fra nabotrær

(sidetrykking og pisking), naturlig utskygging eller blomstring regnes ikke som kroneutglisning. For å bestemme kronefarge, fastslås andelen misfarget bar (og til dels intensiteten av misfargingen) og registreres som en verdi på en skala fra 1 til 4 (normal grønn: 0–10 % gule nåler, svak gul: 11–25 %, middels gul: 26–60 %, sterk gul: >60 %). Hos gran vurderes kronas øvre halvdel, hos furu kronas øvre 2/3-del. Kronegrensa er definert som den nederste grønne greina som ikke er atskilt fra resten av krona med mer enn én død greinkrans. Treet vurderes fra flere sider der dette er mulig. Kronebedømmelse utføres ikke på trær som er undertrykte, har toppbrekk eller andre betydelige mekaniske skader. Bedømmelsen gjennomføres med kikkert av minst to observatører, uavhengig av tidligere års registreringer. Feltarbeidet i 2005 ble utført i første halvdel av september.

Tabell 8. Kronetetthet (%) og kronefarge (%-andel normalt grønne trær) for hovedtreslaget på flatene i 2005 (endringer fra 2004 i parentes). Gjennomsnittstall for granflatene.

Table 8. Crown density (%) and crown colour (% normal green trees) for main tree species in 2005 and changes from the previous year in parenthesis. Mean of the Norway spruce plots.

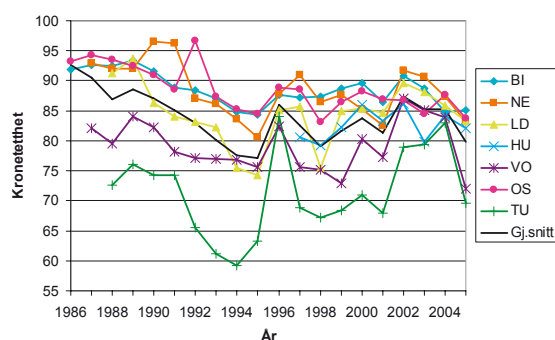
Flate	Kronetetthet		Kronefarge	
BI	85,0	(0,2)	97,8	(2,4)
NE	83,1	(-4,2)	100	(6,4)
LD	83,3	(-2,6)	90,6	(2,1)
HU	82,0	(-2,2)	90,6	(4,1)
VO	72,0	(-11,9)	89,5	(0,4)
OS	83,8	(-3,8)	98,2	(-0,9)
OS-furu	86,6	(-0,2)	98,5	(17,9)
KF-furu	78,5	(-5,1)	100	(12,0)
TU	69,6	(-13,4)	100	(7,3)
Gjennom- snitt, gran	79,8	(-5,4)	95,2	(3,1)

Kronetetthet

Gran: På de intensivt overvåkede flatene (Level II) gikk kronetetthet ned på samtlige granflater fra 2004 til 2005 – med unntak av flata i Birkenes, hvor kronetetthet var tilnærmet uforandret i denne perioden (Tab. 8). Kronetetthet avtok mest på flatene på Voss og Tustervatn med hhv. 11,9 % og 13,4 %. Kronetetthet var høyest på flata i Birkenes (85 %), mens den som i tidligere år var lavest i Tustervatn (69,6 %). Forskjellene mellom flatene økte betraktelig, og i 2005 var det ca 15 % som skilte flata med høyest kronetetthet fra den med lavest. Gjennomsnittelig kronetetthet for de sju gjenværende granflatene i 2005 var med 79,8 % på det laveste nivået siden 1998 (Figur 6), og ingen av flatene hadde en

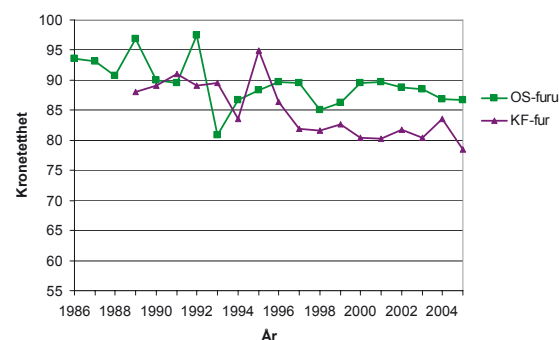
kronetetthet på over 85 %. Følgelig var gjennomsnittelig kronetetthet for gran på Level II-flatene i 2005 tydelig lavere enn både på de landsrepresentative overvåkingsflatene (Level I, 83,9 %) og på skogoppsynets granflater (83,6 %) (Hysten & Larsson 2006, Timmermann 2006). Grantrærne på de intensivt overvåkede flatene i Norge hadde i 2005 omtrent samme kronetetthet som grantrærne i ICP Forests' europeiske Level I-nettverk (79,7 % i 2004, UNECE/EC 2005; data fra ICP Forests for 2005 foreligger ikke ennå).

Furu: Furutrærne på Osen-flata hadde høy krone- tetthet i 2005 (86,6 %), som for året før, mens krone- tetthet på flata i Kårvatn gikk ned til 78,5 % (Tab. 8). På begge flatene har gjennomsnittelig kronetett- het for furu vært relativt stabilt de siste 7–8 årene (Figur 7), til tross for nedgangen fra 2004 til 2005.



Figur 6. Utvikling av kronetetthet på granflatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1986–2005. Gj.snitt: Gjennomsnitt.

Figure 6. Crown density at the Norway spruce plots in 1986–2005. Gj.snitt=Mean



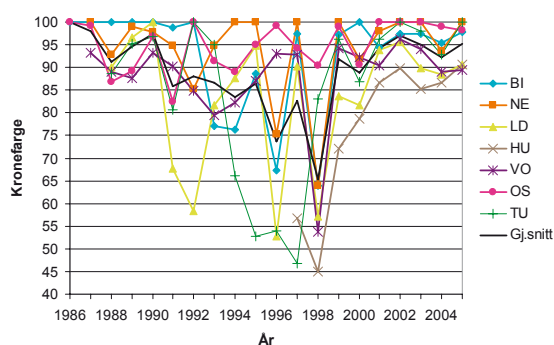
Figur 7. Utvikling av kronetetthet på furuflatene i Osen og Kårvatn 1986–2005.

Figure 7. Crown density at the Scots pine plots in 1986–2005

Kronefarge

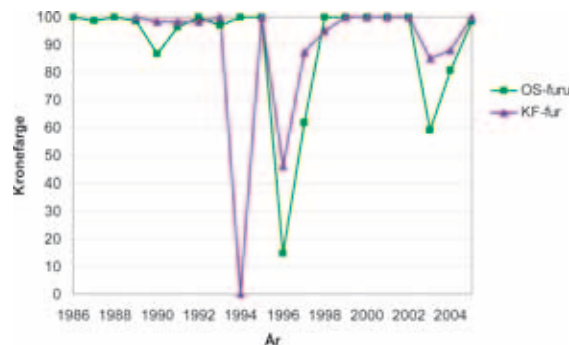
Gran: Kronefarge for gran forbedret seg på alle flatene fra 2004 til 2005, med unntak av Osen hvor det var en meget svak tilbakegang i andelen normalt grønne trær (Tab. 8). I gjennomsnitt hadde 95 av 100 grantrær normal, grønn farge, og bare flata på Voss hadde mer enn 10 % misfargete trær. Omfanget av misfargingen på de norske Level II-flatene har vært meget lavt og rimelig stabilt siden 1999 (Figur 8). Andelen normalt grønne grantrær lå i 2005 på gjennomsnittelig 95,2 %, som er en god del høyere enn på skogoppsynets granflater (90 %, Timmermann 2006) og betydelig høyere enn på de landsrepresentative Level I-flatene (86,5 %, Hysten & Larsson 2006). På ICP Forests' Level I-flater lå andelen normalt grønne bartrær i 2004 på 93,3 % (UNECE/EC 2005). I dette tallet er likevel flere europeiske bartrearter inkludert, og tall for graden av misfarging av gran aleine foreligger dessverre ikke fra ICP Forests.

Furu: Kronefarge for furu forbedret seg kraftig i forhold til året før (Tab. 8). Alle furutrær på flata i Kårvatn og nesten alle i Osen var normalt grønne i 2005. Etter noen år med betydelig misfarging på furutrærne, ser kronefarge ut til å ha stabilisert seg igjen på de to flatene (Figur 9).



Figur 8. Utvikling av kronefarge på granflatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1986–2005. Gj.snitt: Gjennomsnitt.

Figure 8. Crown colour at the Norway spruce plots in 1986–2005. Gj.snitt=Mean



Figur 9. Utvikling av kronefarge på furuflatene i Osen og Kårvatn 1986–2005.

Figure 9. Crown colour at the Scots pine plots in 1986–2005.

Nålekjemi

Kjemisk analyse av barnåler blir gjennomført annet hvert år på de intensivt overvåkede flatene. Prøvetrærne har vært de samme siden 1995, da de ble valgt ut ved systematisk sampling i randsona rundt hver flate. Prøvetrærne skulle ikke være undertrykte, men ha sosial status som dominant, kodominant eller subdominant (Krafts klasse 1–3, UNECE/EC 1998). I september 2005 ble det på hver flate tatt prøver av fem trær for nåleanalyse. Fra hvert tre ble det tatt en prøvegrein fra den øvre del av krona, omtrent ved den 7. greinkrans fra toppen. Prøvegreinene var upåvirket av nabotrær, slik at de fikk direkte lys og ikke var pisket, og ble tatt fra ulike himmelretninger mellom trærne innen samme flate. På forsøksflata ble prøvegreinene ristet fri for vann før de ble veid og målt og det ble klippet prøver av årets og fjorårets nåler. Omtrent like store mengder, sju til ti skudd, ble tatt fra hver prøvegrein og hver nåleårgang. Nålenes farge (jf. avsnittet om trærnes vitalitet) og evt. skader ble notert i felt. Prøvene ble lufttørket enkeltvis i åpne papirposer og i løpet av få dager fraktet til Skogforsks laboratorium for tørking ved 70 grader, oppmaling og kjemisk analyse. Både makro- og mikronæringsstoffer samt andre elementer ble målt med standard analysemetoder (FIA for Kjeldahl nitrogen og ICP-AES for alle andre elementer, se Ogner et al. 1999).

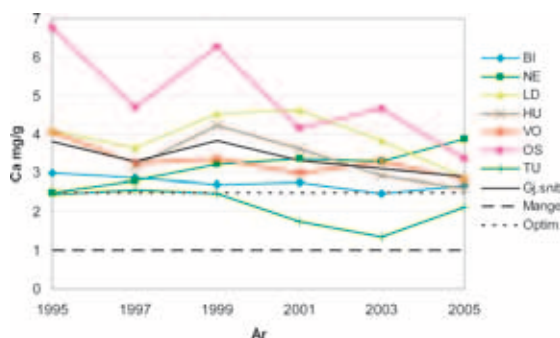
Tabell 9. Konsentrasjoner av makronæringsstoffer i mg/g tørrstoff i årets barnåler 2005 (endringer fra 2003 i parentes). Gj.snitt: Gjennomsnittstall for gran. Mangel- og optimumsgrenser for gran og furu etter Brække 1994 og Hüttl 1991.

Table 9. Concentrations of macronutrients in mg/g dry weight in new needles of 2005 (changes from 2003 in parenthesis) Gj.snitt=Mean. Mangel= Deficiency limit. Deficiency and optimum limit according to Brække 1994 and Hüttl 1991.

Flate	Ca		Mg		K		N		P		S	
BI	2,7	(0,2)	1,4	(0,0)	8,1	(0,5)	13,3	(0,0)	1,5	(0,0)	0,89	(0,02)
NE	3,9	(0,6)	1,4	(0,2)	7,7	(1,6)	13,6	(1,2)	1,4	(0,3)	0,92	(0,15)
LD	2,9	(-0,9)	1,1	(-0,2)	7,9	(1,4)	11,6	(-1,7)	1,4	(-0,1)	0,81	(-0,03)
HU	2,6	(-0,3)	1,0	(0,2)	5,0	(0,1)	10,7	(-0,2)	1,2	(0,0)	0,68	(0,00)
VO	2,8	(-0,5)	0,8	(-0,1)	6,8	(0,2)	11,1	(-0,8)	1,3	(-0,1)	0,84	(0,02)
OS	3,3	(-1,4)	1,0	(0,0)	7,4	(1,1)	10,9	(-0,4)	1,9	(0,2)	0,76	(0,08)
KF-furu	1,7	(-0,3)	0,9	(0,0)	6,7	(1,0)	8,6	(0,3)	1,2	(0,2)	0,67	(0,08)
TU	2,1	(0,8)	0,9	(0,0)	7,1	(-0,7)	11,4	(1,9)	1,4	(-0,1)	0,70	(-0,02)
Gj.snitt, gran	2,9	(-0,2)	1,1	(0,0)	7,1	(0,6)	11,8	(0,0)	1,4	(0,0)	0,80	(0,03)
Mangel <	1,0		0,6		5,5		15		1,5		0,70	
Optimum >	2,5		0,8		7,0		18		1,8		0,90	

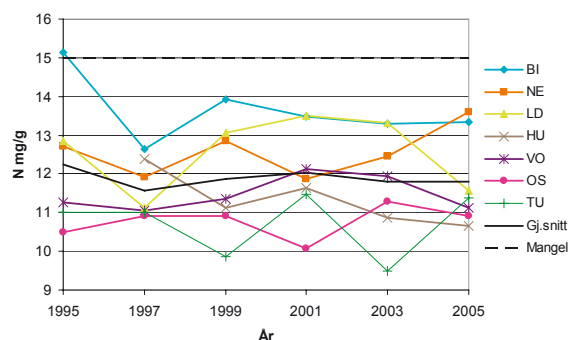
Siden forrige nåleanalyse i 2003 har konsentrasjonen av makronæringsstoffene i årets barnåler i gjennomsnitt forandret seg relativt lite i de fleste tilfeller (Tab. 9). Konsentrasjonen av enkelte næringsstoffer kan likevel variere en god del fra år til år (Figur 10–13). Siden klimatiske forhold påvirker næringsstoffenes tilgjengelighet, kan dette forklare svingninger i næringsstoffenes konsentrasjon i barnålene mellom årene (Hüttl 1991). Konsentrasjonen av Ca, Mg og K i barnålene lå i området for optimal næringskonsentrasjon på alle flater, med unntak av Hurdal som hadde en K-verdi på under mangelgrensa, og Kårvatn og Tustervatn som hadde underoptimale Ca-verdier (Tab. 9, Figur 10 og 11). Konsentrasjonen av N var mangelfull eller sterkt mangelfull på alle flatene, med ekstremt lave verdier på Kårvatn. «Mangelgrense» i nåler defineres da som elementinnholdet der biomasseproduksjonen er ca halvparten av det optimale (jfr. Brække 1994). N-mangel er imidlertid normal i boreale bar-skoger, hvor dette er det viktigste vekstbegrensende

næringsstoffet (Binkley & Högberg 1997). Isolert sett var også P-konsentrasjonene på de fleste flatene (unntatt Osen) mangelfulle mht. optimal vekst (1,5 mg/g), men likevel på et tilstrekkelig nivå i forhold til de lave N-konsentrasjonene (Brække 1994, Hüttl 1991). De andre makronæringsstoffene fantes også i tilstrekkelige konsentrasjoner i forhold til N på alle flater (Tab. 10). Ikke overraskende hadde de to flatene på Sørvestlandet (Birkenes, Nedstrand) de høyeste konsentrasjonene for N, 13,3 og 13,6 mg/g (Tab. 9, Figur 12), som likevel regnes for å være mangelfulle for bartrær (Brække 1994). Disse to flatene hadde også de høyeste S-verdier av alle overvåkingsflater og var de eneste som hadde verdier rundt optimumsgrensa for S (Tab. 9, Figur 13). Barnålene fra Nedstrand hadde noe høyere konsentrasjoner av både N og S enn barnålene fra Birkenes, til tross for at Birkenes har vært mer utsatt for langtransporterte luftforurensninger enn Nedstrand (Hole & Tørseth 2002).



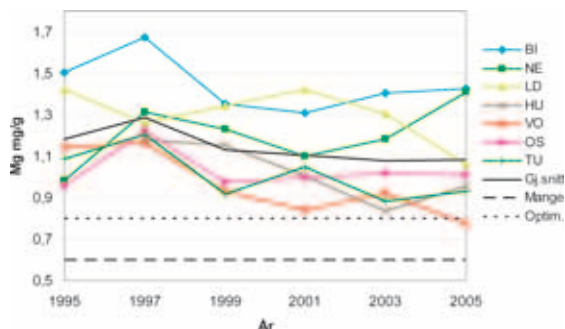
Figur 10. Endringer i Ca-konsentrasjon (mg/g tørrstoff) på granflatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1995–2005. Gj.snitt: Gjennomsnitt. Mangel- og optimumsgrenser etter Hüttl 1991.

Figure 10. Changes in Ca-concentrations (mg/g dry weight) at the Norway spruce plots. Gj.snitt=Mean. Deficiency and optimum limit according to Hüttl 1991.



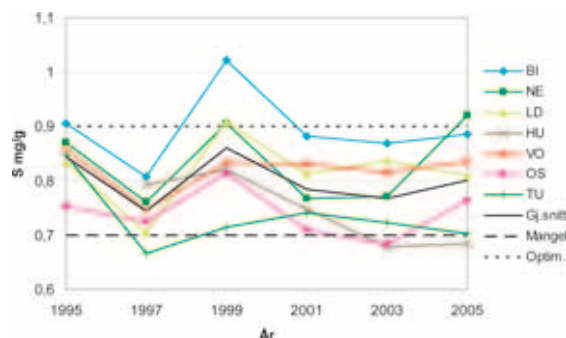
Figur 12. Endringer i N-konsentrasjon (mg/g tørrstoff) på granflatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1995–2005. Gj.snitt: Gjennomsnitt. Mangelgrense etter Brække 1994.

Figure 12. Changes in N-concentrations (mg/g dry weight) at the Norway spruce plots. Gj.snitt=Mean. Deficiency limit according to Brække 1994.



Figur 11. Endringer i Mg-konsentrasjon (mg/g tørrstoff) på granflatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1995–2005. Gj.snitt: Gjennomsnitt. Mangel- og optimumsgrenser etter Brække 1994.

Figure 11. Changes in Mg-concentrations (mg/g dry weight) at the Norway spruce plots. Gj.snitt=Mean. Deficiency and optimum limit according to Brække 1994.



Figur 13. Endringer i S-konsentrasjon (mg/g tørrstoff) på granflatene i Birkenes, Nedstrand, Lardal, Hurdal, Voss, Osen og Tustervatn 1995–2005. Gj.snitt: Gjennomsnitt. Mangel- og optimumsgrenser etter Brække 1994.

Figure 13. Changes in S-concentrations (mg/g dry weight) at the Norway spruce plots. Gj.snitt=Mean. Deficiency and optimum limit according to Brække 1994.

Tabell 10. Forholdet mellom N og de andre makronæringsstoffer, årets barnåler 2005. Tall lavere enn 1 indikerer tilstrekkelig Ca, Mg, K, P eller S i forhold til N (etter Brække 1994 og Hüttl 1991).

Table 10. The proportion of N and other elements in new needles of 2005. Numbers less than 1 indicate sufficient element compared with the amount of N (according to Brække 1994 and Hüttl 1991).

Flate	N/Ca	N/Mg	N/K	N/P	N/S
BI	0,2	0,4	0,6	0,9	0,8
NE	0,1	0,4	0,7	1,0	0,7
LD	0,2	0,4	0,6	0,8	0,7
HU	0,2	0,4	0,8	0,9	0,8
VO	0,2	0,6	0,6	0,8	0,7
OS	0,1	0,4	0,6	0,6	0,7
KF-furu	0,2	0,4	0,5	0,7	0,6
TU	0,2	0,5	0,6	0,8	0,8
Gj.snitt, gran	0,2	0,4	0,6	0,8	0,7

DISKUSJON

Skogøkosystemet er intensivt overvåket på 8 flater over en periode på 19 år i Norge. Disse overvåkingsdata beskriver utviklingen over tid. De norske overvåkingsflatene inngår i et større europeisk nettverk, der 37 land deltar med til sammen ca 800 flater.

Siden slutten av 1990- tallet har innholdet av kjemiske elementer i kronedrypp og jordvann bare i liten grad endret seg i Norge. Betraktes hele perioden i de 19 årene vi har overvåket skogtilstanden her i landet har likevel tilførselene av langtransporterte svovel- og syreforbindelser til Norge avtatt betydelig. Deposisjon av nitrogen derimot viser ingen tydelige trender, med unntak av NO₂ som har avtatt en god del de siste årene. Nitrogendeposisjon har trolig ført til økt tilvekst i Norge (Solberg et al 2004). Eksperimentelle forsøk viser tilvekstreduksjon ved kunstig vanning med høye sulfatkonsentrasjoner (Abrahamsen et al 1994), mens tilvekstreduksjon grunnet sulfatdeposisjon kunne ikke påvises i Norge (Solberg et al 2004). Virkningen av nitrogen- og sulfatdeposisjon på trærns tilvekst ser ut til å motvirke hverandre, slik at en negativ effekt av sulfatdeposisjon på tilvekst ikke kan utelukkes. Ozoneksponeringer viser ingen tydelig trend, men de årlige variasjonene er sannsynligvis i stor grad påvirket av meteorologiske forhold. Det var ingen overskridelser av grenseverdien for ozoneksponering av vegetasjon i 2005. Tilstanden i skogøkosystemet må karakteriseres å være relativt stabil for de variablene vi måler, selv om vi registrerer betydelige årlige variasjoner. De registrerte endringene i luften i Norge samsvarer med utslippsendringer i Europa. I Norge har vi observert noen av de høyeste konsentrasjoner og mengder av langtransporterte luftforurensninger (svovel, nitrogen, ozon), og laveste pH i nedbør i de sørvestligste delene av landet. Det må imidlertid bemerkes at de høyeste verdier av svovelkonsentrasjonene i luft i Norge er målt i Sør-Varanger i Øst-Finnmark, og disse skyldes utslipp fra russisk smelteverksindustri i nærheten (Andreassen et

al. 2004). Mange steder i Europa er det dokumentert skogskader som skyldes luftforurensninger, og i noen områder med økt industri har atmosfæriske luftforurensninger økt de siste årene (UNECE/EC 2003a & b). Dokumenterte skogskader som skyldes langtransporterte luftforurensninger i gassform har vi ikke kunnet påvise i Norge, med unntak av skader i Sør-Varanger. Dette kommer trolig av at vi ligger i ytterkanten av skadegradienten. Det er heller ikke påvist skadelige effekter på trær grunnet økt jordforsuring som følge av nedfall fra luftforurensningen. Siden konsentrasjonene av mulige toksiske Al-forbindelser er lave, særlig i humussjiktet hvor det er mest finrøtter, er risikoen for aluminiumsforgiftning av skog i Norge fortsatt lav (Eldhuset 1988, De Wit 2000).

Gjennomsnittelig kronetetthet for gran gikk ned på samtlige intensive flater fra 2004 til 2005 unntatt på Birkenes der tettheten var stabil. Andelen grønne grantrær øket imidlertid på alle flater unntatt i Osen. Nedgang i kronetetthet og bedring i kronefarge ble også observert på skogoppsynets og på de landsrepresentative Level 1 flatene. Disse to datasettene viste størst nedgang i Oppland og i Agderfylkene. Tilbakegangen på Østlandet kan skyldes meteorologiske forhold eller biotiske skadegjørere som f.eks. granrust og trenger ikke vise samme type negative trend som vi observerte på 1980-tallet. En av årsakene til den dårlige vitaliteten som ble observert på 80- og 90-tallet kan ha vært tørkestress da forskning peker på at tilveksten ble tydelig redusert etter perioder med tørke på Sør-Østlandet (Andreassen et al. 2006). Langtransporterte forurensninger kan også virke inn og forstyrre bildet.

På Nedstrand er mengden blåbær mer enn halvert. Mengden av grasarten smyle viste også en tydelig reduksjon fra 2000 til 2005. Også på Kårvatn i Møre og Romsdal, med lite nitrogennedfall, var det en tilbakegang av grasarten smyle, mens på Østlandet var det en økning av denne arten. Smyle samvarierer ofte med nitrogennedfall, og er derfor en viktig indikatorart.

LITTERATUR

- Abrahamsen, G., Stuanes, A.O., Tveite, B. 1994. Long-term experiments with acid rain in Norwegian forest ecosystems. *Ecological Studies* 104. Springer-Verlag. New York.
- Andreassen, K., Clarke, N., Røsberg, I., Timmermann, V., Aas, W. 2004. Intensiv skogovervåking i 2003. Resultater fra ICP Forests Level 2 flater i Norge. *Intensive forest monitoring in 2003. Results from ICP Forests Level 2 plots in Norway*. Aktuelt fra skogforskningen 6/2004: 1–23.
- Andreassen, K., Solberg, S., Tveito, O.E. and Lystad, S.L. 2006. Regional differences in climatic responses of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) growth in Norway. *Forest Ecology and Management* 222: 211–221.
- Binkley, D. & Högborg, P. 1997. Does atmospheric deposition of nitrogen threaten Swedish forests? *For. Ecol. Manage.* 92: 119–152.
- Brække, F.H. 1994. Diagnostiske grenseverdier for næringselementer i gran- og furunåler. Aktuelt fra skogforskningen 15/94: 1–11.
- De Wit, H.A. 2000. Solubility controls and phyto-toxicity of aluminium in a mature Norway spruce forest. Doctoral Thesis 2000: 14. Agricultural University of Norway, Aas, Norway.
- EC (European Commission) 1996. European programme for the intensive monitoring of forest ecosystems. Protection of forests against atmospheric pollution. Regulation (EC) 3528/86 and its amendments. 40 pp. + annexes.
- ECE (1996) Manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded. Geneva, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution
- Eldhuset, T.D. 1988. Virkninger av aluminium på høyere planter ved lav pH: En litteraturoversikt. *Medd. Norsk Inst. Skogforsk.* 40(8): 1–19.
- EMEP (2005) Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe. Norwegian Meteorological Institute, EMEP Status Report 1/2005.
- EU (2002) Directive 2002/3/EC of the European Parliament and of the Council of 12 February 2002 in relation to ozone in ambient air. *Official Journal of the European Communities*, L 067, 09/03/2002, 14–30.
- Godbold, D.L., Jentschke, G., & Marschner, P. 1995. Solution pH modifies the response of Norway spruce seedlings to aluminium. *Plant Soil* 171: 175–178.
- Hole, L.R. & Tørseth, K. 2002. Deposition of major inorganic compounds in Norway 1978–1982 and 1997–2001: status and trends. NILU-Rapport OR 61/2002.
- Horntvedt, R., Aamlid, D., Rørå, A. & Joranger, E. 1992. Monitoring programme for forest damage. An overview of the Norwegian programme. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 6: 1–17.
- Hüttl, R.F. 1991. Die Blattanalyse als Monitoring-Instrument im Waldökosystem. In: *Proceedings from IUFRO and ICP-Forests Workshop on monitoring*, Prachatic, CSFR. 139–147.
- Hyllen, G., Larsson, J. Y. 2006. Helsetilstanden i norske skoger: Resultater fra landsrepresentativ overvåking 1989–2005. *NIJOS rapport* 1/06: 1–61.
- Kinraide, T.B. 1991. Identity of the rhizotoxic aluminium species. *Plant Soil* 134: 167–178.
- Lange, H., Solberg, S., Clarke, N. 2006. Aluminum dynamics in forest soil waters in Norway. *Science of the Total Environment* 367: 942–957.
- Lorenz, M. 1995. International co-operative programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests – ICP forests. *Water Air and Soil Pollution* 85(3): 1221–1226.
- Ogner, G., Wickstrøm, T., Remedios, G., Gjelsvik, S., Hensel, G.R., Jacobsen, J.A., Olsen, M., Skretting, E. & Sørli, B. 1999. The chemical analysis program of the Norwegian Forest Research Institute 2000. Norwegian Forest Research Institute. Chemical Laboratories, Ås. ISBN 82–7169–917–2. 23 pp.
- OPS 1989 Overvåkingsprogram for skogskader. Årsrapport 1988. Norsk Institutt for Skogforskning. Ås, Norway. 52 pp.
- Schütt, P. & Cowling, E.B. 1985. Waldsterben, a general decline of forests in Central Europe: Symptoms, development and possible causes. *Plant Disease* 69: 548–558.
- Solberg, S., Andreassen, K., Clarke, N., Tørseth, K., Tveito, O.E., Strand, G.H. & Tomter, S. 2004. The possible influence of nitrogen and acid deposition on forest growth in Norway. *Forest Ecology and Management* 192: 241–249.
- Solberg, S., Breivik, K., Clarke, N., Groeggen, T., Røsberg, I., Tørseth, K., Aamlid, D., Aas, W. 1999. Intensiv skogovervåkingsflater. Resultater fra 1998. Aktuelt fra skogforskningen 5/99: 1–24.
- Solberg, S., Clarke, N., Røsberg, I., Aamlid, D., Aas, W. 2001. Intensiv skogovervåkingsflater. Resultater fra 2000. Aktuelt fra skogforskningen 8/2001: 1–21.
- Timmermann, V. 2006. Skogoppsynets overvåkingsflater. Vitalitetsregistreringer 2005. Forest Officers' Monitoring Plots. Vitality survey 2005. Rapport fra skogforskningen 1/06: 1–30.
- UNECE/EC (United Nations Economic Commission for Europe – European Commission) 1998. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part II: Visual assessment of crown condition. 4th edition, updated 2004. 15 pp. + annexes.
- UNECE/EC (United Nations Economic Commission for Europe – European Commission) 2005. Forest Condition in Europe. – 2005 Technical Report, Geneva. ISSN 1020–3729. 99 s. + annekser
- UNECE/EC (United Nations Economic Commission for Europe –European Commission) 2003a. Forest Condition in Europe. – 2003 Technical Report, Geneva, Brussels. ISSN 1020–3729. 116 pp. + annekser.
- UNECE/EC (United Nations Economic Commission for Europe –European Commission) 2003b. The Condition of Forests in Europe. – 2003 Executive Report, Geneva, Brussels. ISSN 1020–587X. 39 pp. + annekser
- Wickstrøm, T., Clarke, N., Derome, K., Derome, J. & Røgeberg, E. 2000. Comparison study of five analytical methods for the fractionation and subsequent determination of aluminium in natural water samples. *J. Environ. Monit.* 2: 171–181.
- Wu, Y., Çakn, D. & Clarke, N. 2006. Aluminium fractionation using cation exchange: comparison of results obtained after fractionation in the field and in the laboratory. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, akseptert.